

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 958 734**

51 Int. Cl.:

**B61L 27/16** (2012.01)

**B61L 27/20** (2012.01)

**B61L 3/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.08.2019** **E 19193069 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.07.2023** **EP 3782869**

54 Título: **Sistema de control de un tren y procedimiento para el control de un tren dentro de un sistema de control de trenes**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**14.02.2024**

73 Titular/es:

**GTS DEUTSCHLAND GMBH (100.0%)**  
**Thalesplatz 1**  
**71254 Ditzingen, DE**

72 Inventor/es:

**WIPLINGER, GERHARD y**  
**DE LA SIERRA APARICIO, MARIA DE LOS**  
**ÁNGELES**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 958 734 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

**DESCRIPCIÓN**

Sistema de control de un tren y procedimiento para el control de un tren dentro de un sistema de control de trenes

**Antecedentes de la invención**

5 La invención se refiere a un procedimiento para el control de un tren dentro de un sistema de control de trenes, y a un sistema de control de trenes para realizar el procedimiento.

Para evitar accidentes en las operaciones ferroviarias, es conocido el uso de sistemas automáticos de control de trenes (control de ruta y control de seguimiento de trenes) [1][7][8].

10 El control de rutas y el control de seguimiento de trenes en un sistema ferroviario se lleva a cabo actualmente mediante sistemas técnicos, en particular mediante cajas de señales, sistemas electrónicos de control de trenes como, por ejemplo, ETCS ("ETCS European Train Control System" - Sistema de Control Ferroviario Europeo SCFE) y normas operativas [2].

Para diseñar un sistema ferroviario según el estado de la técnica se realiza previamente un análisis estático de peligros y una evaluación de riesgos, para la planificación de infraestructuras y funcionamiento operativo.

15 El documento [2] desvela el uso de una red bayesiana para el análisis probabilístico de seguridad APS ("PSA Probabilistische Sicherheitsanalyse" – "PRA "Probabilistic Risk Assessment") de líneas ferroviarias.

Una red bayesiana (también llamada: red bayesiana, red de decisión, modelo bayesiano o modelo gráfico acíclico dirigido probabilístico) es un modelo gráfico probabilístico (modelo estadístico), que representa un conjunto de variables y sus dependencias condicionales sobre un gráfico acíclico dirigido (DAG – "Directed Acyclic Graph").

20 Para que un sistema ferroviario, en el que se realiza un análisis de riesgos durante la planificación de la infraestructura, funcione de manera segura, se diseña de tal manera que incluso el tren más lento y más largo pueda circular con seguridad. Sin embargo, esto significa que, en la mayoría de los trenes, el sistema está diseñado de manera demasiado defensiva (tramos de vía demasiado largos, distancias de frenado demasiado largas, etc.), de modo que normalmente no se consigue una utilización óptima de la ruta. Además, se crean rutas estáticas y permisos de conducción estáticos. Debido a los diferentes tipos de trenes y rutas, esto requiere mucho esfuerzo de planificación y  
25 verificación del proyecto.

Las redes bayesianas también se utilizan en el sector TI para realizar evaluaciones de riesgos como parte de la gestión de seguridad [3][4][5][6].

30 Los documentos [3][4] describen una evaluación de seguridad en tiempo real para realizar una evaluación dinámica de las condiciones de seguridad ocupacional en el sitio de construcción, utilizando un modelo oculto de Markov. En este caso, el riesgo para la seguridad de los trabajadores está vinculado a los lugares de trabajo.

**Objetivo de la invención**

35 El objetivo de la invención es proponer un procedimiento para asegurar un tren dentro de un sistema de control de trenes y un sistema de control de trenes, con el que se pueda simplificar la planificación, la configuración/planificación del proyecto, la aprobación, y se pueda optimizar la utilización de la ruta con un alto nivel de seguridad (nivel de integridad de seguridad SIL4 – "SIL Safety Integrity Level").

**Descripción de la invención**

Este objetivo se resuelve de acuerdo con la invención mediante un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 y un sistema de control de trenes de acuerdo con la reivindicación 11.

El procedimiento de acuerdo con la invención comprende los siguientes pasos de procedimiento:

- 40 • creación de un modelo de accidentes, mediante el cual se determinan las clases de accidentes y los factores que influyen en el accidente;
- determinación de una reserva de ruta individual para el tren, mediante la determinación de una zona de reserva de ruta y un perfil de ruta;
- enviar una solicitud para liberar la reserva de ruta determinada, a una unidad de evaluación de riesgos;
- 45 • realizar una evaluación de riesgos en tiempo real para la reserva de ruta por medio de la unidad de evaluación de riesgos para al menos una parte de las clases determinadas de accidentes, por lo que se determina un factor de riesgo para la reserva de ruta y como resultado se determina si el factor de riesgo es aceptable;
- liberación o rechazo de la reserva de ruta en función del resultado de la evaluación de riesgos.

- 5 El procedimiento medido utiliza un modelo de accidentes creado estáticamente, para comprender y describir los accidentes ferroviarios. La modelización de accidentes se realiza preferentemente fuera del funcionamiento del sistema de control de trenes. Se pueden definir, por ejemplo, las siguientes clases de accidentes: "descarrilamiento", "colisión con otros trenes", "colisión con personas/objetos", "accidentes en cruces ferroviarios/pasos a nivel". Los factores que influyen en el accidente son factores (elementos), que pueden contribuir a los acontecimientos contenidos en las clases de accidentes, es decir, influir en el riesgo de un accidente, por ejemplo, el entorno, el conductor, la decisión del conductor, el tren, la infraestructura, la velocidad, la supervisión). La descripción de, entre otras cosas, la infraestructura y el tren se debe determinar de manera fiable (SIL4).
- 10 De acuerdo con la invención no se libera una ruta predefinida, sino que se crea una reserva de ruta individual, es decir, la reserva de ruta se determina específicamente para un tren seleccionado en un lugar determinado a una hora determinada. Una reserva de ruta comprende un tramo de la ruta a recorrer por el tren que se selecciona/determina individualmente para un tren determinado, pero no se proyecta de antemano y, por lo tanto, no afecta a un tramo predeterminado de la ruta.
- 15 La reserva de ruta se puede solicitar directamente desde el tren, desde el distribuidor o desde una unidad operativa. Para ello, el distribuidor/unidad operativa determina primero el alcance de la reserva de ruta para el tren seleccionado y el perfil de ruta. El perfil de ruta comprende una descripción de ruta para el alcance de la reserva de ruta, en particular un perfil de pendiente (altura de la zona de reserva en función de la distancia), un perfil de velocidad (velocidad máxima permitida dentro de la zona de reserva en función de la distancia, carga por eje permitido, peralte de curva, etc.). La velocidad máxima permitida en la zona de reserva depende, en particular, de la velocidad máxima de la ruta (velocidad máxima permitida), de la velocidad máxima del tren (en función, por ejemplo, de la carga por eje, del tren de mercancías, del tren de pasajeros, de la capacidad de frenado, ...), radio de curva y peralte en las curvas, puntos temporales de conducción lenta. El alcance de la reserva de ruta depende, por ejemplo, de si en la ruta a recorrer se encuentran otros trenes, trabajadores, obras, etc.
- 20 La solicitud se envía a la unidad de evaluación de riesgos, que realiza una evaluación de riesgos en tiempo real para la reserva de ruta solicitada (determinada individualmente). La evaluación de riesgos se realiza preferentemente para todas las clases de accidentes previamente determinadas, como parte del procedimiento. La evaluación de riesgos en tiempo real comprende determinar un factor de riesgo para el movimiento del tren seleccionado dentro de la reserva de ruta. El riesgo (factor de riesgo) se determina y evalúa para cada tren de manera individual y en tiempo real.
- 25 La unidad de evaluación de riesgos utiliza la evaluación de riesgos en tiempo real para evaluar, si están permitidos los comandos necesarios para la reserva de ruta (cambio de desvío, permiso de conducción de trenes, etc.). Para ello se determina la probabilidad de que se produzca un accidente (factor de riesgo) para las clases de accidentes predefinidas. Si el factor de riesgo permanece por debajo de un límite predeterminado (factor de riesgo = aceptable), se ejecutan los comandos necesarios para la reserva de ruta (por ejemplo, posicionamiento de desvíos, señales, etc.) y se libera la reserva de ruta. La reserva de ruta se libera cuando los elementos de campo necesarios para la reserva de ruta están en su lugar (por ejemplo, la posición del desvío correcta, la posición de la señal, la instrucción de la abertura del paso a nivel). La liberación de la reserva de ruta provoca la emisión de una autorización de conducción ("movement authority") a un tren.
- 30 Con la evaluación de riesgos de acuerdo con la invención, la unidad de evaluación de riesgos puede evaluar si la situación actual conduce a un riesgo en caso de informes de averías de elementos de campo o informes de posición/velocidad del tren y, en caso necesario, tomar medidas de seguridad.
- 35 El procedimiento de acuerdo con la invención se adapta dinámicamente a la situación del tráfico y a los órdenes del operador, calcula todos los riesgos individuales y garantiza la máxima integridad de seguridad (SIL4), al mismo tiempo que proporciona el mayor rendimiento dentro de una zona de control controlada, antes de emitir órdenes a los elementos de campo y a las autorizaciones de conducción a trenes.
- 40 El procedimiento de acuerdo con la invención describe una solución genérica, que no requiere ninguna planificación del proyecto específica y simplifica esencialmente el procedimiento de admisión. No requiere reglas operativas ni planificación de proyecto de rutas ni permisos de conducción.
- 45 Preferentemente, para determinar la reserva de ruta se determina una posición actual del tren. La posición se determina preferentemente por medio de satélites ("GNSS Global Navigation Satellite System" – Sistema global de navegación por satélite).
- 50 Para evitar que una parte del tren permanezca en la ruta y represente un peligro para otros trenes, para determinar la reserva de ruta, se tiene preferentemente en cuenta la integridad del tren.
- 55 Es particularmente ventajoso que la evaluación de riesgos en tiempo real se realice exclusivamente basándose en parámetros físicos y/o geométricos de los factores que influyen en el accidente y en las probabilidades de error de los factores que influyen en el accidente. Esto es ventajoso puesto que los parámetros físicos y geométricos se pueden determinar fácilmente o son conocidos de todos modos.
- La probabilidad de error de un factor que influye en el accidente influye en la probabilidad de error de los otros factores

que influyen en el accidente.

En una variante particular del procedimiento de acuerdo con la invención, para la evaluación de riesgos en tiempo real se utiliza un modelo gráfico probabilístico (modelo de grafo), que describe el modelo de accidentes creado previamente, en el que se construye/instancia un gráfico con nodos y bordes, con probabilidades condicionales almacenadas para cada nodo. Los modelos gráficos probabilísticos (PGM) son gráficos con nodos y bordes, por lo que los nodos representan variables de probabilidad. La ausencia de bordes entre los nodos del gráfico indica su independencia. De acuerdo con la invención, se genera/instancia un gráfico, que representa la topología del sistema ferroviario. Por lo tanto, el gráfico instanciado describe, por lo tanto, el tren y la infraestructura geométrica del sistema ferroviario.

El gráfico es preferentemente un gráfico dirigido y/o acíclico, por ejemplo, un gráfico según una red bayesiana (dirigida y acíclica) o según un modelo de Markov.

El modelo gráfico utilizado de acuerdo con la invención es un modelo estadístico, que representa un conjunto de variables (factores que influyen en el accidente/nodos) y sus dependencias a través de un gráfico dirigido, en particular acíclico (DAG). Las dependencias de los nodos se modelan mediante probabilidades condicionales. El gráfico describe genéricamente el modelo de accidentes creado previamente. El gráfico se puede considerar como una red dinámica diseñada para calcular tasas de probabilidad de accidentes (red de probabilidad). El gráfico genérico se genera de manera dinámica, es decir, en función de la situación actual, de la reserva de ruta y de la descripción geométrica de la ruta y del tren. Idealmente, se utiliza una red bayesiana (BN) como gráfico, porque las redes bayesianas son ideales para registrar un evento que ha ocurrido y predecir la probabilidad de que una de varias posibles causas conocidas fuera el factor determinante. La distribución de probabilidades de todos los factores que influyen en el accidente se representa de manera compacta, utilizando probabilidades condicionales conocidas. Las probabilidades condicionales de cada nodo se almacenan en una tabla de probabilidades. La estructura de este gráfico y sus tablas de probabilidades están determinadas por el modelo de accidentes. Las tablas de probabilidades comprenden parámetros físicos y/o geométricos de los respectivos factores que influyen en el accidente, así como sus probabilidades de error. Los parámetros físicos y/o geométricos del tren (carga por eje, capacidad de frenado...) se pueden determinar, por ejemplo, a partir de la mecánica del tren.

Para la creación del modelo de accidentes, se utiliza preferentemente un enfoque teórico de sistemas STAMP ("Systems-Theoretic Accident Model and Processes" - Modelo y procesos de accidentes teóricos de sistemas) con un análisis de procesos teóricos de sistemas STPA ("Systems Theoretic Process Analysis" - Análisis de procesos teóricos de sistemas). El modelo de accidentes representa las dependencias causales entre los factores que influyen en el accidente y las clases de accidentes, y sirve como base para la estructura del gráfico. También se pueden utilizar otros métodos en lugar de STAMP/STPA.

Los nodos son preferentemente nodos de clase de accidentes y nodos de elemento, por lo que un nodo de elemento representa un factor que influye en el accidente y en el que un nodo de clase de accidentes representa una de las clases de accidentes.

Para cada nodo se almacena una distribución de probabilidades condicionales (tabla de probabilidades) de las variables aleatorias (factor que influye en el accidente) representadas por el nodo. La distribución de probabilidades asigna variables aleatorias a los nodos principales.

La reserva de ruta puede comprender varias subzonas de reserva de ruta, por lo que para cada subzona de reserva de ruta se construye/insta un subgrafo (preferentemente dirigido, en particular acíclico), que representa una subred.

Las subzonas de reserva de ruta se definen (limitadas) preferentemente mediante cambios en la ruta. Esto significa que si un parámetro de ruta cambia (por ejemplo, debido a un nuevo perfil de pendiente, bifurcación de la ruta mediante un desvío, cambio en la pendiente de la ruta...), la subzona de reserva de ruta anterior finaliza y comienza la siguiente subzona de reserva de ruta. Esto es particularmente ventajoso porque un cambio en los parámetros de la ruta puede influir en el riesgo de accidente (factor de riesgo). Por lo tanto, se calcula un factor de riesgo parcial para cada subzona de reserva de ruta. En este caso, el riesgo de accidentes en las diferentes subzonas de reserva de rutas puede depender de diferentes factores que influyen en el accidente. Por lo tanto, las subredes de las diferentes subzonas de reserva de rutas pueden comprender diferentes tipos y números de nodos. La reserva de ruta solo se liberará si el riesgo de accidente (factor de riesgo parcial) en cada subzona de reserva de ruta, es menor que el factor de riesgo aceptable. El factor de riesgo para toda la reserva de ruta se calcula como la suma de los factores de riesgo parciales.

Preferentemente, los informes de posición del tren se determinan a intervalos de tiempo y se transmiten a la unidad de evaluación de riesgos. Después de cada informe de posición, los datos obtenidos de los informes de posición se introducen en el gráfico para las subzonas de reserva de ruta.

Un informe de posición comprende preferentemente datos de posición, informaciones del tren (por ejemplo, integridad del tren, longitud del tren) e información de velocidad. Tan pronto como se actualiza un informe de posición del tren (OBU), los datos actuales del informe de posición se introducen en el gráfico y el gráfico se recalcula al menos para la subzona de reserva de ruta más adelante (basándose en la posición actual del tren).

Las subredes están interconectadas formando una red dinámica, de modo que un cambio en una subred puede

provocar cambios en las otras subredes.

La invención también se refiere a un sistema de control de trenes para realizar el procedimiento descrito anteriormente. El sistema de control de trenes de acuerdo con la invención comprende

- 5 • una unidad de evaluación de riesgos para la creación de una evaluación de riesgos en tiempo real, para una reserva de ruta previamente determinada para un tren, basada en un modelo de accidentes y para transmitir comandos a elementos de campo; y
- una unidad de transmisión para la transmisión de informaciones del tren relacionadas con el tren, por lo que la unidad de transmisión presenta una interfaz con la unidad de evaluación de riesgos.

10 La unidad de evaluación de riesgos de acuerdo con la invención está configurada para utilizar un modelo gráfico para calcular un factor de riesgo para una reserva de ruta determinada en el nivel SIL4, comparar este factor de riesgo con un factor de riesgo aceptable previamente determinado y, si es necesario, liberar la reserva de ruta, si el factor de riesgo calculado es menor que el factor de riesgo aceptable.

La unidad de transmisión está dispuesta preferentemente en el tren.

15 La unidad de evaluación de riesgos presenta preferentemente interfaces con elementos de campo del sistema de control de trenes. A través de estas interfaces se pueden controlar y supervisar los elementos de campo, para crear las condiciones para liberar la reserva de ruta (por ejemplo, mediante el cambio de desvíos, la conmutación de señales, etc.).

20 En una forma de realización especial del sistema de control de trenes de acuerdo con la invención está previsto una unidad operativa (OB), para determinar la reserva de ruta individual para el tren, por lo que la reserva de ruta comprende una zona de reserva de ruta y un perfil de ruta, por lo que la unidad operativa presenta una interfaz con la unidad de evaluación de riesgos.

La unidad operativa es preferentemente una unidad con una interfaz con un sistema de gestión de trenes. El sistema de gestión de trenes está configurado para proporcionar un horario, controlar y supervisar el tráfico de trenes de acuerdo con el horario, optimizar el horario actual, identificar y resolver conflictos en caso de problemas en el tráfico actual de trenes.

25 La unidad operativa crea las reservas de ruta con los parámetros actuales del tren y de la ruta (longitud del tren, capacidad de frenado, propiedades de la ruta, estado de la vía) a nivel de SIL0.

La unidad de evaluación de riesgos no toma ninguna decisión sobre hacia dónde debe conducir el tren ni con qué perfil de velocidad puede circular el tren, por lo que no influye en la configuración de la reserva de ruta.

30 Preferentemente, la unidad operativa también es responsable de solicitar la reserva de ruta a la unidad de evaluación de riesgos. Alternativamente, la solicitud para la reserva de ruta también la puede realizar, por ejemplo, el propio tren.

La unidad para la transmisión de informaciones del tren puede ser, por ejemplo, una unidad de a bordo (OBU – “On Board Unit”) del tren o una unidad situada en la ruta.

La unidad de a bordo (OBU) comprende preferentemente una unidad de determinación de la posición.

35 Con el procedimiento de acuerdo con la invención o el sistema de control de trenes de acuerdo con la invención se puede realizar una optimización operativa (optimización de los viajes en tren, resolución de conflictos) a nivel de SIL0 con los parámetros actuales, mientras que el análisis de riesgos se puede realizar de manera flexible en tiempo real en el nivel SIL4.

40 Otras ventajas de la invención resultan de la descripción y del gráfico. Asimismo, las características mencionadas anteriormente y las detalladas se pueden utilizar de acuerdo con la invención individualmente o en varias de cualquier combinación. Las formas de realizaciones mostradas y descritas no se deben entender como una lista exhaustiva, sino que tienen un carácter ejemplar para describir la invención.

#### Descripción detallada de la invención y dibujo

- Fig. 1 muestra una representación esquemática del rango SIL4 de una forma de realización preferente de un sistema de control de acuerdo con la invención.
- 45 Fig. 2 muestra una representación esquemática de una forma de realización preferente de un sistema de control de acuerdo con la invención con un rango SIL0.
- Fig. 3 muestra la secuencia de los distintos pasos del procedimiento de acuerdo con la invención.
- Fig. 4 muestra un gráfico de un modelo gráfico probabilístico basado en un modelo de accidentes con un nodo de clase de accidentes y una pluralidad de nodos de elementos.

Fig. 5 muestra un perfil de velocidad de una reserva de ruta, así como subredes del gráfico para la reserva de ruta, creado para la evaluación de riesgos.

La Fig. 1 muestra los componentes esenciales del sistema de control de trenes de acuerdo con la invención. La parte central del sistema de control de acuerdo con la invención es una unidad de evaluación de riesgos MAXd.

5 La unidad de evaluación de riesgos MAXd comprende elementos para la seguridad de rutas y la seguridad del seguimiento de trenes. Además, la unidad de evaluación de riesgos puede comprender elementos para la protección de bandas y para la seguridad de cruces ferroviarios.

10 La unidad de evaluación de riesgos MAXd recibe de una unidad de transmisión **OBS** informaciones del tren  $I_2$  relativo a un tren a través de una interfaz, para el que se debe liberar una reserva de ruta RES (tren seleccionado). Las informaciones del tren  $I_2$  pueden comprender, por ejemplo, la posición del tren, la velocidad, la longitud del tren, la masa, .... La posición del tren se determina por medio de una unidad de detección de trenes **VD**. La unidad de detección de trenes VD y la unidad de transmisión OBS, pueden estar dispuestos (pero no necesariamente) en el tren. La unidad de transmisión OBS puede ser, por ejemplo, una unidad de control situado en el vehículo. Sin embargo, también es posible, que las informaciones del tren  $I_2$  se transmitan desde una unidad de transmisión externo (del tren) a la unidad de evaluación de riesgos MAXd y/o que la unidad de detección de trenes VD esté dispuesta, situada en la ruta.

15 La unidad de evaluación de riesgos MAXd recibe informaciones  $I_{FE}$  de elementos de campo **FE** relativos a los estados actuales de los elementos de campo FE, a través de otra interfaz.

20 La unidad de evaluación de riesgos MAXd está configurada para transmitir comandos **k** a los elementos de campo, para crear las condiciones para la liberación de una reserva de ruta (RES). Además, la unidad de evaluación de riesgos MAXd se puede configurar para transmitir permisos de conducción **MA** a los trenes. Alternativamente, el permiso de conducción MA también se puede comunicar al tren a través de señales situadas en la ruta (no representadas). En la Fig. 1 se parte del supuesto de que la unidad de transmisión OBS está dispuesta dentro del tren, de modo que la unidad de transmisión OBS también puede recibir el permiso de conducción MA.

25 De acuerdo con la invención, la reserva de ruta RES se crea fuera del rango SIL4 del sistema de control de trenes de acuerdo con la invención. Esto se puede realizar a través de una unidad operativa **OP**, como se muestra en la Fig. 2. Como "unidad operativa" puede servir un ordenador con lógica empresarial para el control de movimiento, en particular con un software de apoyo a la toma de decisiones ("Decision Support System"). En cambio, un distribuidor también puede asumir una parte de las tareas de la unidad operativa. La unidad operativa OP es responsable de la optimización operativa (optimización de los viajes en tren). Esta optimización operativa se lleva a cabo a nivel de SIL0 con los parámetros actuales (longitud del tren, capacidad de frenado, propiedades de la ruta, estado de la vía).

30 La unidad operativa OP conoce los requisitos nacionales y las reglas de funcionamiento. El estado del sistema SYS (es decir, estados de los elementos de campo, la posición, la velocidad de los trenes, etc.) se transmite desde la unidad de evaluación de riesgos MAXd a la unidad operativa OP. Sobre esta base, la unidad operativa OP puede generar individualmente una reserva de ruta RES para un tren específico, es decir, determinar individualmente el alcance de la reserva de ruta RES, comprendiendo un perfil de ruta que determinar un perfil de velocidad **MP**, y llevar los desvíos a la posición correcta para la reserva de ruta RES.

35 De este modo, la unidad operativa OP crea individualmente una reserva de ruta RES para un tren seleccionado. En la forma de realización mostrada en la Fig. 2, se realiza una solicitud **A** de la reserva de ruta (solicitud de liberación de una reserva de ruta RES previamente creada) a la unidad de evaluación de riesgos MAXd, también a través de la unidad operativa OP.

La unidad operativa se comunica con una unidad de gestión de trenes TMS, que es responsable de planificar los viajes en tren. En particular, el estado del sistema SYS se transmite a la unidad de gestión de trenes TMS, ya que esto es necesario para que la unidad de gestión de trenes TMS pueda intervenir eventualmente de manera resolutive; por ejemplo, para desviar los trenes siguientes, en caso de interrupción de un tren en la ruta.

45 La tarea principal de la unidad de evaluación de riesgos MAXd es calcular una evaluación de riesgos para una reserva de ruta solicitada RES, basándose en un modelo de accidentes previamente establecido **AccM**, así como basado en las informaciones del tren  $I_2$  y las informaciones del elemento de campo  $I_{FE}$ . Basándose en la evaluación de riesgos, la unidad de evaluación de riesgos MAXd decide si se libera la reserva de ruta RES solicitada y si el tren en cuestión recibe el correspondiente permiso de conducción MA. La evaluación de riesgos en tiempo real se realiza en el nivel SIL4.

50 La Fig. 3 muestra la secuencia del procedimiento de acuerdo con la invención: Si la unidad de evaluación de riesgos MAXd recibe una solicitud A para una reserva de ruta RES para un tren específico, la unidad de evaluación de riesgos MAXd la calcula utilizando el modelo de accidentes AccM y las informaciones del tren  $I_2$  disponibles e informaciones del elemento de campo  $I_{FE}$  en tiempo real, un factor de riesgo **RF** para la reserva de ruta solicitada RES, o varios factores de riesgo parciales para las subzonas de la reserva de ruta de la reserva de ruta RES. Si el factor de riesgo RF está por debajo de un valor límite aceptable Lim previamente determinado, la unidad de evaluación de riesgos MAXd transmite comandos K a los elementos de campo FE, para establecer los ajustes de elementos de campo necesarios para la reserva de ruta RES. Tan pronto como se hayan realizado los ajustes necesarios de los elementos

de campo (es decir, la reserva de ruta RES es "transitable"), la unidad de evaluación de riesgos emite el permiso de conducción MA. Si el factor de riesgo RF determinado está por encima del valor límite aceptable Lim, no se emiten comandos K ni el permiso de conducción MA. En cambio, se puede transmitir una información relativo al rechazo de la solicitud A, a la unidad operativa OP, para que pueda crear una reserva de ruta alternativa.

- 5 Las clases de accidentes (por ejemplo, descarrilamientos, colisiones con otros trenes, colisiones con personas/objetos, accidentes en cruces ferroviarios/pasos a nivel) se definen en función de las propiedades del tren y de la ruta para crear el modelo de accidentes AccM, que se utiliza para la evaluación de riesgos en tiempo real de acuerdo con la invención.

El modelo de accidentes está representado por un gráfico dirigido **G** de un modelo gráfico, por ejemplo, por una red bayesiana. La **Fig. 4** muestra el gráfico correspondiente a la clase de accidentes "descarrilamiento" **D**. La clase de accidentes D representa un nodo (nodo de clase de accidentes, representado de forma ovalada) del gráfico G. El gráfico G también comprende nodos de elementos (representados de forma redonda), por lo que cada nodo de elemento representa un factor que influye en el accidente (aquí: conductor **VD**, decisiones del conductor **VDDE**, sistema situado en el vehículo (supervisión) **S**, velocidad **V**, infraestructura **INF**, Tren **RS**, influencias medioambientales **E**).

15 Los factores que influyen en el accidente considerados en el presente caso presentan asociados los siguientes parámetros/índices de error geométricos/físicos, que se tienen en cuenta al crear las tablas de probabilidades:

| Factor que influye en el accidente (nodo de red) | Parámetros/índice de error geométricos/físicos  |
|--|---|
| Modo ETCS  | Probabilidad para diferentes modos de seguridad (observación de la ruta por parte del conductor del tren (responsabilidad del personal SR "staff responsibility"), conducción a la vista (OS – "on sight"), supervisión total (FS – "full supervision") |
| Conductor  | Índice de error del conductor correspondiente   |
| Decisión del conductor                           | Probabilidades de frenar, acelerar, no actuar   |
| Tren   | Índice de error del tren, velocidad, carga por eje, radio de curva, peralte en las curvas   |
| Medioambiente                                    | Probabilidades de deslizamientos de tierra, avalanchas, desprendimientos de piedra  |
| Velocidad  | Rendimiento de frenado del tren, capacidad de aceleración del tren  |
| Infraestructura                                  | Índice de error de la vía, tipo de tren, velocidad del tren   |
| Supervisión (OBU)                                | Probabilidades del modo de supervisión (SR, OS, FS); en función de los índices de disponibilidad del sistema de a bordo.  |

20 Los bordes del gráfico G (representados por flechas) indican qué factores que influyen en el accidente, influyen en otros factores que influyen en el accidente. Se almacena una tabla de probabilidades para cada nodo, por lo que la tabla de probabilidades no comprende "datos ensayados", sino datos de ruta, datos de tren, así como índices de error de elementos y sus probabilidades condicionales (en función de otros nodos de clase de accidentes).

El gráfico forma una "red de probabilidades" que depende de la topología del sistema ferroviario (es decir, de la descripción geométrica de la infraestructura y del tren). Un cambio en las propiedades del tren o de la ruta (por ejemplo, la velocidad máxima permitida) también cambia la tabla de probabilidades. El cálculo de las probabilidades almacenadas en la tabla de probabilidades es determinista.

25 La **Fig. 5** muestra un perfil de velocidad **MP** de un tren de una longitud **LT** del tren dentro de una reserva de ruta RES de una longitud de 260m. La reserva de ruta RES se divide en subzonas de la reserva de ruta, por lo que para cada subzona de reserva de ruta se crea una subred en forma de un subgrafo, análogo a la Fig. 4. Para una reserva de ruta RES, se crea una pluralidad de subgrafos/subredes, que juntos forman un gráfico para la reserva de ruta RES que se va a evaluar. En la Fig. 5 se representa una subred como ejemplo con nodos rellenos en negro. Las subredes individuales se muestran en la Fig. 5 en los respectivos tramos de ruta (distancia d) dentro de la reserva de ruta RES. Por lo tanto, se crean e instancien subredes para varias subzonas de la reserva de ruta ("reservation sub areas") a lo largo de la zona de reserva (instanciación = cálculo de las tablas de probabilidades concretas para nodos individuales). Las subzonas de la reserva de ruta se definen mediante cambios en la ruta (por ejemplo, cambios en la posición de los desvíos, cambios de la velocidad máxima permitida). Debido a estos cambios en la ruta, cambian las probabilidades de los factores que influyen en el accidente y, con ello, la influencia de los factores que influyen en el accidente individuales, sobre la probabilidad de accidente de la clase de accidente, a la que están vinculados los factores que influyen en el accidente. En las zonas en las que se debe frenar el tren, las subredes se alinean más estrechamente juntas. Además, las subredes están interconectadas entre sí ("Dynamic Bayesian Network"), por lo que un cambio en una subred también puede provocar cambios en las otras subredes. Por lo tanto, un factor que influye en el accidente de una subzona de reserva influye en el factor que influye en el accidente correspondiente de una subzona de reserva posterior.

Por lo tanto, la tabla de probabilidades para un determinado factor que influye en el accidente, difiere para diferentes

5 subzonas de reserva, de modo que las tablas de probabilidades para las diferentes subzonas de reserva y, por lo tanto, también los factores de riesgo se deben calcular por separado. Las subredes pueden diferir en el número y tipo de nodos y/o en las tablas de probabilidades almacenadas para los nodos. La división en subzonas de reserva se realiza preferentemente de tal manera que la longitud de una subzona de reserva sea como máximo tan larga como la longitud LT del tren, para el que se aplica la reserva de ruta RES.

10 La probabilidad de los nodos se puede actualizar/recalcular, por ejemplo, tan pronto como esté disponible un informe de posición actual del tren. Un informe de posición comprende, por ejemplo, datos de posición, datos del tren, información de velocidad, información en relación con la integridad del tren. Para hacer esto, los datos del nuevo informe de posición se introducen en el gráfico, y se vuelven a introducir los datos para todas las subzonas de reserva (que están por delante en relación con la posición actual del tren). Esto significa que, por ejemplo, para un nodo de velocidad que anteriormente solo tenía una probabilidad de una determinada velocidad, se introduce la velocidad concreta reportada. Por supuesto, esto influye en las probabilidades de los siguientes nodos. Estas probabilidades se calculan utilizando las tablas de probabilidad. Un nodo puede representar una probabilidad (por ejemplo, para una determinada velocidad) o tener un valor concreto introducido (por ejemplo, una determinada velocidad).

15 Antes de que el tren comience a frenar debido a que se acerca el final de la reserva de ruta RES, existe la posibilidad de que se solicite una reserva de ruta nueva/ampliada para evitar frenar el tren. Una solicitud de este tipo se puede realizar, por ejemplo, mediante una unidad situada en el tren ("On Board Unit" - unidad de a bordo).

20 Mediante la generación individual de reservas de ruta y la realización de análisis de riesgos en tiempo real, es posible aumentar significativamente el rendimiento de la ruta: por ejemplo, si se encuentra otro tren B en la ruta que debe recorrer el tren A dentro de una zona que, según el estado de la técnica pertenece a una ruta determinada, el tren A no puede ingresar a esta zona siempre que el tren B esté dentro de la ruta. Sin embargo, de acuerdo con la invención todavía se puede establecer una reserva de ruta individual para el tren A. La longitud de la reserva de ruta se establece entonces de modo que finalice antes de que llegue el tren B. En el perfil de velocidad de la reserva de ruta para el tren A, el tren A se debe frenar en consecuencia. De acuerdo con la invención, la zona de reserva de acuerdo con la invención no llega hasta la ruta según el estado de la técnica. Sin embargo, el tren A al menos puede conducir lentamente dentro de la reserva de ruta. A más tardar antes de alcanzar la curva de frenado almacenada en la reserva de ruta, la unidad operativa solicita una nueva reserva de ruta (ya que el motivo de la frenada planificada probablemente ya no existe, por ejemplo, el tren B ha avanzado).

30 La invención permite una visión holística de todos los elementos relevantes de la lógica de seguridad SIL4, evaluando el riesgo de cada tren individualmente y en tiempo real, en particular si la situación actual no genera ningún peligro y si es necesario tomar medidas de seguridad. El enfoque matemático utilizado es una red bayesiana, que se genera dinámicamente dependiendo de la situación actual. La descripción geométrica de la infraestructura y del tren se utiliza para la estructura de esta red y sus tablas de probabilidad. La dinámica del tren se calcula utilizando leyes físicas bien conocidas. El concepto de seguridad de acuerdo con la invención se adapta dinámicamente a la situación del tráfico y a las órdenes de los operadores, calcula todos los riesgos individuales y garantiza la máxima integridad de seguridad (SIL4) y al mismo tiempo el mayor rendimiento para todos los elementos relevantes dentro de la zona de control, antes de emitir órdenes a los elementos de campo y autorizaciones de movimiento a los trenes. El enfoque de acuerdo con la invención es una solución genérica que no requiere ninguna planificación de proyecto específica y simplifica significativamente el procedimiento de admisión.

40 **Lista de símbolos de referencia**

- A solicitud para liberar una reserva de ruta
- AccM modelo de accidentes
- D clase de accidentes "descarrilamiento"
- FE elementos de campo
- 45 G gráfico dirigido
- I<sub>FE</sub> informaciones
- I<sub>z</sub> informaciones del tren
- K comandos para elementos de campo
- Lim valor límite para la evaluación de riesgos
- 50 LT longitud del tren
- MA permiso de conducción
- MP perfil de velocidad
- MAXd unidad de evaluación de riesgos

|    |      |  |
|----|------|--|
|    | Obs  | unidad de transmisión  |
|    | OP   | unidad operativa   |
|    | RES  | reserva de ruta  |
|    | RF   | factor de riesgo   |
| 5  | SYS  | estado del sistema   |
|    | TMS  | unidad de gestión de trenes  |
|    | VD   | unidad de detección de trenes  |
|    | D    | factor que influye en el accidente: fiabilidad del conductor   |
|    | VDDE | factor que influye en el accidente: decisiones del conductor   |
| 10 | E    | factor que influye en el accidente: peligros en el entorno (por ejemplo, deslizamientos de tierra, avalanchas, inundaciones) |
|    | INF  | factor que influye en el accidente: daños a la infraestructura (por ejemplo, rotura de vía)                                  |
|    | RS   | factor que influye en el accidente: daños en el tren   |
|    | S    | factor que influye en el accidente: modo del sistema situado en el vehículo  |
| 15 | V    | factor que influye en el accidente: velocidad esperada o actual del tren   |

#### Lista de literatura

- [1] J. Pahl  
"Tecnología del sistema de transporte ferroviario."  
Vieweg+Teubner Verlag, 2011
- 20 [2] Z. Grande et al.  
"Análisis probabilístico de seguridad de líneas de alta velocidad y convencionales mediante redes bayesianas"  
XII Congreso de Ingeniería del Transporte, Valencia, 2016  
DOI: <http://dx.doi.org/10.4995/CIT2016.2016.3428>
- [3] D. López
- 25 "Evaluación Dinámica de Riesgos en Sistemas de Información: Estado de la técnica"  
La VI Conferencia Internacional sobre Tecnologías de la Información, 2013
- [4] H. Jiang et al.  
"Evaluación de riesgos de seguridad en tiempo real basada en un sistema de localización en tiempo real para sitios de construcción de energía hidroeléctrica"
- 30 Hindawi Publishing Corporation The Scientific World Journal ID del artículo 235970, 2014,  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/235970>
- [5] K. Haslum  
"Un marco para la predicción y prevención de intrusiones distribuidas, utilizando modelos ocultos de Markov y evaluación en línea de riesgos difusos "
- 35 Tercer Simposio internacional sobre garantía y seguridad de la información, 2007  
DOI: 10.1109/IAS.2007.67
- [6] N. Poolsappasit  
"Gestión dinámica de riesgos de seguridad mediante gráficos de ataques bayesianos"  
Transacciones IEEE sobre informática segura y confiable, Vol. 9, No. 1 de enero/febrero de 2012
- 40 [7] G. Theeg, S. Vlasenko

"Señalización y Enclavamientos Ferroviarios"

Eurailpress, 2009

[8] P. Stanley

"ETCS para Ingenieros"

5 Eurailpress, 2011

**REIVINDICACIONES**

1. Un procedimiento para el control de un tren dentro de un sistema de control de trenes, que comprende los siguientes pasos del procedimiento:
  - 5           • creación de un modelo de accidentes (AccM), mediante el cual se determinan las clases de accidentes y los factores que influyen en el accidente;
  - determinación de una reserva de ruta individual (RES) para el tren, mediante la determinación de una zona de reserva de ruta y un perfil de ruta;
  - enviar, a una unidad de evaluación de riesgos (MAXd), una solicitud (A) para liberar la reserva de ruta determinada (RES);
  - 10          • realizar una evaluación de riesgos en tiempo real para la reserva de ruta (RES), utilizando la unidad de evaluación de riesgos (MAXd) para al menos una parte de las diferentes clases de accidentes determinadas, por lo que se determina un factor de riesgo (RF) para la reserva de ruta (RES) y, como resultado, se determina si el factor de riesgo (RF) es aceptable; y
  - liberación o rechazo de la reserva de ruta (RES) en función del resultado de la evaluación de riesgos.
- 15   2. El procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que para determinar la reserva de ruta (RES) se determina una posición actual del tren.
3. El procedimiento según la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que se determina la integridad del tren para la determinación de la reserva de ruta (RES).
- 20   4. El procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la evaluación de riesgos en tiempo real se realiza exclusivamente en base a parámetros físicos y/o geométricos y a las probabilidades de error de los factores que influyen en el accidente.
- 25   5. El procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que se utiliza un modelo gráfico probabilístico para la evaluación de riesgos en tiempo real, que describe el modelo de accidentes (AccM) creado previamente, por lo que un gráfico (G) se construye/instancia con nodos y bordes, por lo que se almacenan probabilidades condicionales para cada nodo.
- 30   6. El procedimiento según la reivindicación 5, caracterizado por que los nodos comprenden nodos de clase de accidentes y nodos de elementos, por lo que un nodo de elemento representa uno de los parámetros físicos y/o geométricos de uno de los factores que influyen en el accidente, y un nodo de clase de accidentes representa una de las clases de accidentes.
- 30   7. El procedimiento según la reivindicación 5 o 6, caracterizado por que el gráfico (G) es un gráfico dirigido y/o acíclico (G).
- 35   8. El procedimiento según una de las reivindicaciones 5 a 7, caracterizado por que los nodos comprenden nodos de clase de accidentes y nodos de elementos, por lo que un nodo de elemento representa uno de los factores que influyen en el accidente, y por lo que un nodo de clase de accidentes representa una de las clases de accidentes.
- 35   9. El procedimiento según una de las reivindicaciones 5 a 8, caracterizado por que la reserva de ruta (RES) comprende varias subzonas de reserva de ruta, por lo que para cada subzona de reserva de ruta es construido/instanciado un subgrafo, que representa una subred.
- 40   10. El procedimiento según una de las reivindicaciones 5 a 9, caracterizado por que los informes de posición del tren se determinan y transmiten a la unidad de evaluación de riesgos (MAXd) en intervalos de tiempo, y que después de cada informe de posición para las subzonas de reserva de ruta, los datos obtenidos de los informes de posición se introducen en el gráfico (G).
- 45   11. Un sistema de control de trenes para la realización del procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, que comprende:
  - 45           • una unidad de evaluación de riesgos (MAXd) para la creación de una evaluación de riesgos en tiempo real para una reserva de ruta (RES) previamente determinada para un tren, utilizando un modelo de accidentes (AccM) y para transmitir comandos (K) a elementos de campo (FE);
  - una unidad de transmisión (OBS) para la transmisión de informaciones del tren (I<sub>z</sub>) relativas al tren, por lo que la unidad de transmisión (OBS) presenta una interfaz con la unidad de evaluación de riesgos (MAXd).
- 50   12. El sistema de control de trenes según la reivindicación 11, caracterizado por que la unidad de evaluación de riesgos (MAXd) presenta interfaces con elementos de campo (FE).

13. El sistema de control de trenes según la reivindicación 11 o 12, caracterizado por que está previsto una unidad operativa (OP) para determinar la reserva de ruta (RES) individual para el tren, por lo que la reserva de ruta (RES) comprende una zona de reserva de ruta y un perfil de ruta, por lo que la unidad operativa (OP) presenta una interfaz para la unidad de evaluación de riesgos (MAXd).
- 5 14. El sistema de control de trenes según una de las reivindicaciones 11 a 13, caracterizado por que la unidad de transmisión es una unidad de a bordo del tren o una unidad situado en la ruta.
15. El sistema de control de trenes según la reivindicación 14, caracterizado por que la unidad de a bordo comprende una unidad de determinación de la posición.

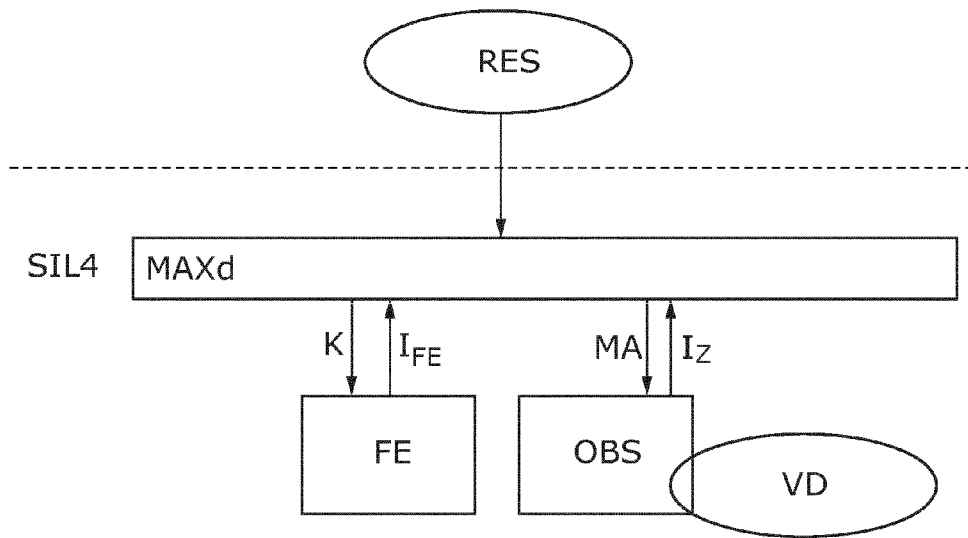


Fig. 1

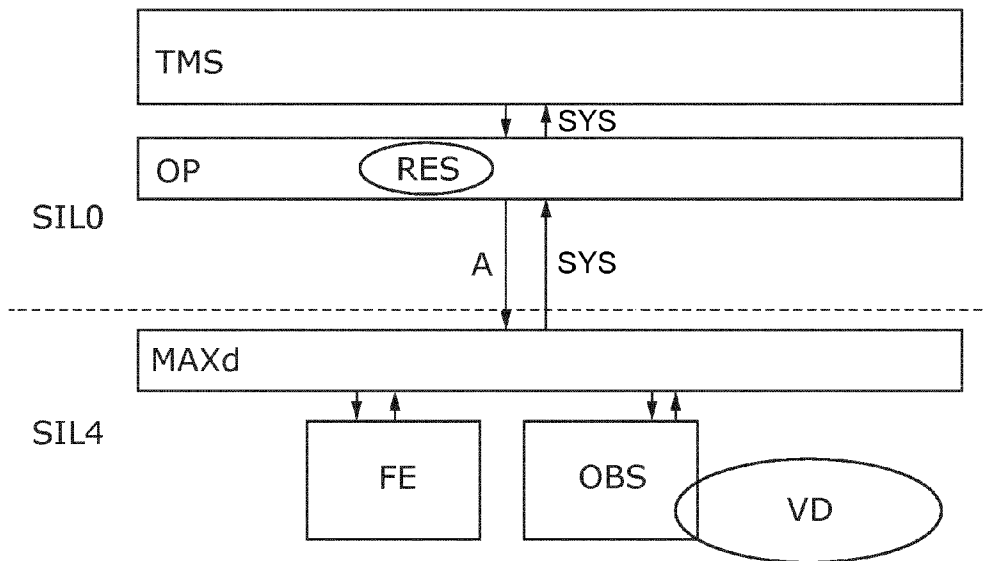


Fig. 2

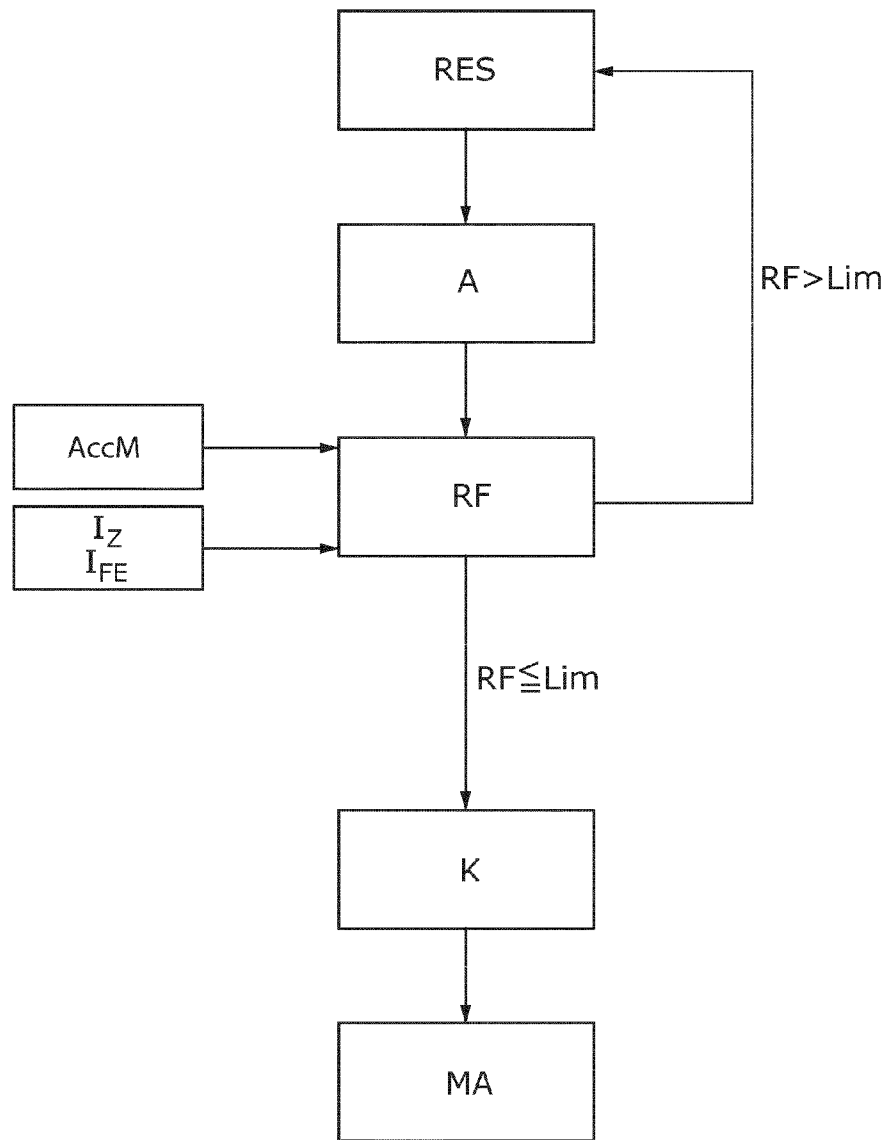


Fig. 3

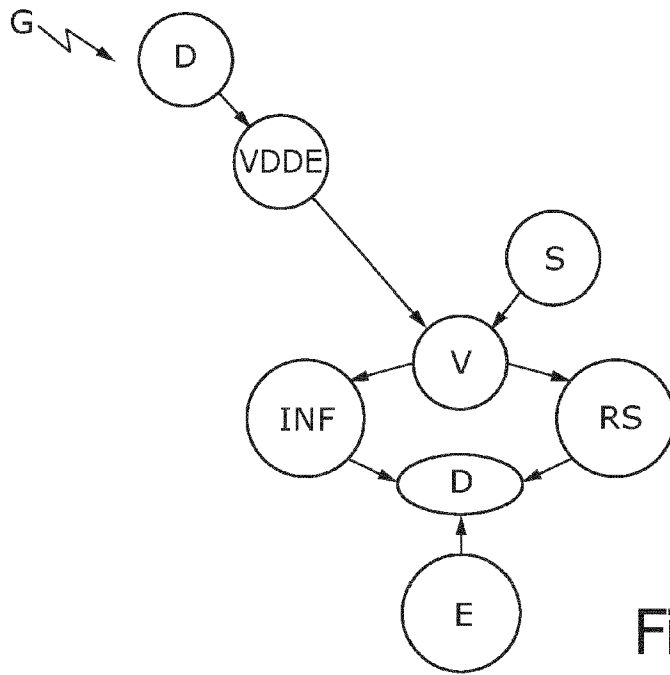


Fig. 4

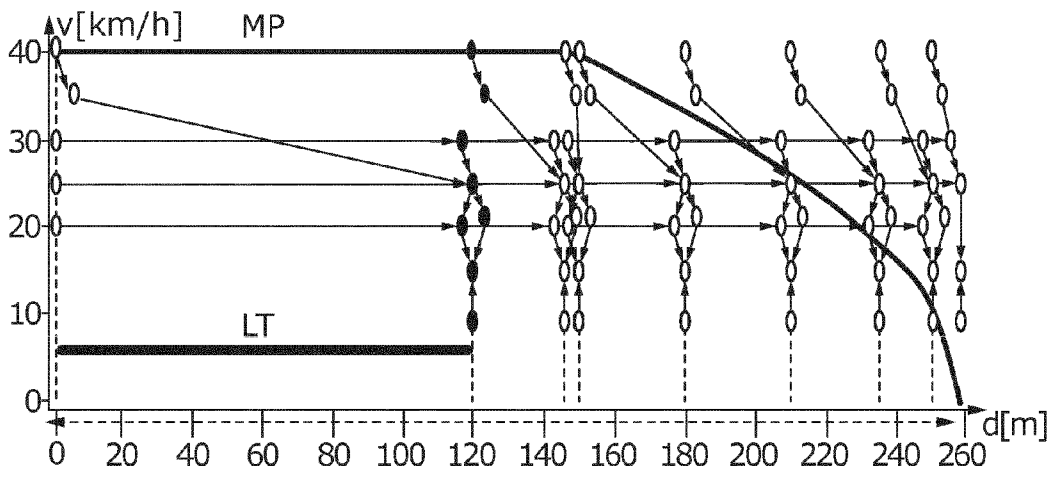


Fig. 5